
Istituto di Psicologia

CNR - Roma

**Verso uno studio integrato
della mente e del cervello**

Gianluca Baldassarre

E-mail: lusi@iol.it

Istituto di Psicologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Dipartimento sistemi neurali e vita artificiale

Viale Marx, 15 - 00137 - Roma

Telefono: +39-6-86090231

Fax: +39-6-824737

Maggio 1997

Technical Report

Verso uno studio integrato della mente e del cervello

Riassunto

Vengono presentate delle riflessioni sul ruolo svolto finora dalla psicologia, dalla neuropsicologia e dall'intelligenza artificiale, nell'indagine scientifica sulla mente. In particolare viene evidenziato l'isolamento metodologico in cui ciascuna opera: la psicologia opera al livello funzionale, la neuropsicologia al livello microscopico strutturale, l'intelligenza artificiale al livello di informazione astratta. Viene presentata una visione del cervello come sistema complesso. Viene presentato il nuovo paradigma dell'intelligenza artificiale, il connessionismo, che mira a costruire dispositivi intelligenti, le reti neurali, che riproducono alcune caratteristiche essenziali del cervello. Si auspica che le discipline coinvolte nello studio delle attività mentali si integrino ed includano, tra le loro tecniche di indagine, quella della costruzione di modelli simulati al computer basati sulle reti neurali. Si indica il ruolo che la psicologia, le neuroscienze e l'intelligenza artificiale dovrebbero assumere nello studio integrato ed interdisciplinare del cervello e della mente.

Cervello e mente, neuroscienze e psicologia

Le discipline a cui è affidato lo studio del comportamento e della vita mentale sono principalmente le neuroscienze e la psicologia. Quale è stato finora il metodo di indagine adottato da queste discipline ed il contributo dato alla comprensione delle tematiche sull'attività mentale?

Le neuroscienze adottano i costrutti teorici ed i metodi di indagine delle scienze naturali come la fisica, la chimica e la biologia, di cui fanno parte. In particolare esse fondano la loro indagine su una visione riduzionistica della realtà e sul metodo sperimentale.

Il riduzionismo comporta che la spiegazione dei fenomeni osservabili espressi da un certo sistema, sia ricercata nelle proprietà dei componenti elementari in cui si tenta di scomporre il sistema. Attraverso un processo di analisi verso il livello microscopico, si tenta di individuare le proprietà dei componenti elementari per ricostruire il fenomeno osservato sulla base di esse, cioè si tenta di "ridurre" il fenomeno osservato alle proprietà elementari delle componenti del sistema che lo genera (Cini (1990)).

Il metodo sperimentale comporta la produzione di esperimenti nei quali il ricercatore indaga il rapporto di causa ed effetto esistente tra alcune variabili che egli stesso manipola opportunamente, le variabili sperimentali, ed alcune variabili in cui consiste il fenomeno osservato. La realizzazione di esperimenti artificiali, in laboratorio, consente di “bloccare” gran parte delle variabili non sperimentali che potrebbero avere effetto sul fenomeno osservato ed impedire così di rilevare in modo netto e distinto il rapporto di causa ed effetto cercato.

Questo metodo ha consentito alle neuroscienze di fare grossi progressi. E' stata individuata la struttura di base del cervello, il neurone, sono stati compresi i meccanismi di trasmissione delle informazioni tra neuroni basati sui potenziali locali, i potenziali di azione ed i neurotrasmettitori, si stanno comprendendo sempre più a fondo le diverse trasformazioni chimiche ed elettriche che avvengono a livello di membrana, sono state individuate le principali tipologie di neuroni, è stata individuata la macroanatomia del sistema nervoso ed è stata compresa la struttura parzialmente modulare del cervello, costituito da parti aventi funzioni relativamente specializzate.

Queste scoperte costituiscono un passo in avanti fondamentale per la comprensione del funzionamento del cervello. Esse però se possono essere considerate soddisfacenti sul piano della comprensione della biologia del cervello, costituiscono solo il primo passo, necessario ma insufficiente, per la comprensione della dimensione cognitiva del cervello stesso. Forniscono una conoscenza fondamentale sui processi elettrici e chimici su cui si basa l'attività cognitiva, ma non ci dicono molto su come essi riescano a produrre il comportamento e la vita mentale così come direttamente osservabile.

E' evidente quindi che la valutazione dei risultati conseguiti dalle neuroscienze dipende da quale si ritiene essere il loro mandato conoscitivo. Ciò che preoccupa maggiormente è che la comunità delle neuroscienze, a fronte di dichiarazioni come quelle in Kandel, Jessel, Schwartz (1991):

Il fine che le neuroscienze si prefiggono è quello di capire l'attività mentale, cioè i meccanismi attraverso i quali riusciamo ad avere percezioni, ci muoviamo e siamo i grado di ricordare. [...] Ciò che ha reso straordinari gli ultimi se i anni è il fatto che [...] si è verificata una considerevole espansione delle nostre conoscenze della biologia delle funzioni corticali superiori. Ciò è risultato particolarmente evidente per quello che concerne la determinazione delle mappe delle regioni corticali implicate in funzioni mentali quali la percezione e

l'attenzione selettiva. I successi conseguiti in questi campi debbono molto alla collaborazione della psicologia cognitiva con le neuroscienze, collaborazione che avevamo auspicato [...].

forse sente come veramente proprio solo il mandato conoscitivo della comprensione della dimensione biologica del cervello, per il quale può contare su un metodo di indagine consolidato, quello sperimentale, e sugli apporti “sicuri” provenienti da discipline appartenenti alle “scienze dure”, come la chimica e la biologia. Sente invece come meno pressante il compito della comprensione della dimensione mentale del cervello, legata a discipline giovani ed ancora senza un nucleo teorico e metodologico forte ed affidabile, come la psicologia o l'intelligenza artificiale.

E' per questo che rispetto all'obiettivo della comprensione del comportamento e della vita mentale, il bilancio che può essere fatto è che “le neuroscienze soffrono di una situazione caratterizzata da un proliferare di dati empirici di fronte ad una penuria di teorie e di modelli, specie al livello dei funzionamenti cerebrali che corrispondono a capacità ed attività mentali minimamente complesse” (Parisi (1989)).

Il risultato di ciò è che le neuroscienze incontrano un limite che consiste nella incapacità di portare l'indagine al livello di comportamento e di vita mentale del cervello. Come diremo più chiaramente in seguito, questo limite deriva proprio dal fatto che non si può sperare di studiare gli aspetti “collettivi ed emergenti” espressi dal sistema complesso cervello solo con gli strumenti logici e le tecniche di indagine delle scienze naturali (analisi di poche variabili alla volta, relazioni di causalità lineare, assenza di relazioni di feedback, esperimento tradizionale, ecc.).

Veniamo ora all'altra disciplina cui è affidato il compito di indagare sulle tematiche dell'attività mentale, la psicologia.

Nella sua attività di ricerca la psicologia ha fatto grossi passi in avanti. Essa ha proposto delle classificazioni dei fenomeni osservati ed un linguaggio per trattarli, abbastanza soddisfacenti. Ora sappiamo ad esempio che le dimensioni principali del comportamento sono la percezione, l'attenzione, la motivazione e le emozioni, la memoria, la rappresentazione della conoscenza (immagini, concetti, frame, script), i processi di pensiero (induzione, deduzione, analogia), la soluzione dei problemi, l'apprendimento, l'azione, la comunicazione linguistica e di altro tipo. Sappiamo quindi a quali problemi indirizzare l'attenzione. Inoltre per ognuna di queste abbiamo ulteriori classificazioni dei processi di cui si compongono, delle

buone descrizioni di questi processi (ad esempio per la memoria: memoria a breve ed a lungo termine) ed una serie di teorie che cercano di interpretarli. E' stata accumulata una gran mole di dati quantitativi, raccolti nel corso di esperimenti condotti con un buon controllo sperimentale.

La psicologia però ha incontrato grossi limiti teorici e metodologici.

Il primo problema è che “la psicologia è fundamentalmente una scienza della mente o del comportamento, cioè una scienza che cerca di descrivere e di spiegare le funzioni complessive del cervello restando in un ambito di discorso puramente funzionale, cioè senza fare ricorso alle caratteristiche fisiche del cervello” (Parisi (1989)).

Se si immagina di poter osservare il cervello su più livelli organizzati gerarchicamente, dal più basso costituito dai neuroni al più alto costituito dal comportamento, dire che la psicologia è funzionalista significa dire che essa si muove solo nell'ambito del livello più alto. Questo implica che lo psicologo osserva il comportamento e tenta di costruire dei modelli teorici (diagrammi di flusso, reti semantiche, schemi a blocchi) che ne catturino le regolarità, senza cercare spiegazioni a livello dei neuroni, cioè senza tentare di ricondurre in alcun modo il comportamento ai meccanismi ed alle leggi che caratterizzano i livelli inferiori.

Per fare degli esempi, un modello funzionale sulla memoria può affermare che la memoria è come un biblioteca (Broadbent nel 1971), un modello sull'attenzione selettiva visiva può affermare che essa è come la luce di un riflettore che illumina una porzione del campo visivo (La Berge nel 1983). Come è evidente il modo utilizzato per spiegare il fenomeno osservato è basato su una metafora, non su un modello che tenta di descrivere il reale meccanismo, processo o struttura, sottostante al fenomeno studiato. Poiché esistono sempre diverse “metafore” alternative per spiegare un fenomeno osservato, le teorie ed i modelli psicologici difficilmente riescono a dare spiegazioni fondate e durature.

Il secondo problema è che la psicologia ha fornito moltissime teorie relativamente specifiche che possono essere applicate solo ad un ristretto insieme di compiti cognitivi (Eysenck, Keane (1990)). Non è mai riuscita cioè a fornire delle teorie unificanti, cioè delle teorie in grado di descrivere numero cospicuo dei fenomeni osservati, di portare alla previsione di altri fenomeni, di essere

suscettibili di essere allargate con altre scoperte portando ad una crescita cumulativa delle conoscenze.

Crediamo che questo problema dipenda dal primo. Una metafora utilizzata come descrizione del meccanismo sottostante ad un certo fenomeno osservato, difficilmente potrà essere utilizzata per spiegare molti altri fenomeni osservati. Inevitabilmente nuove scoperte empiriche portano al rovesciamento delle teorie metafora precedenti ed alla sostituzione di esse con nuove teorie metafora, in un avvicendamento continuo. Se invece per spiegare un fenomeno osservato si cerca di individuare (ipotizzare) il vero meccanismo sottostante ad esso, allora si può tentare di prevedere altri fenomeni sulla base di questo meccanismo, si può tentare di verificare l'ipotesi del meccanismo stesso sulla base delle osservazioni di fenomeni diversi e si può estendere la teoria. Insomma si producono delle teorie unificanti e si ha cumulatività delle conoscenze.

E' questa una posizione riduzionistica? Non è la strada seguita dalle neuroscienze, che, come abbiamo visto, incontra grossi ostacoli a "spostare l'indagine verso l'alto"? Non necessariamente, come vedremo tra poco.

Intelligenza artificiale e scienze cognitive

Nello studio delle attività mentali, accanto alla psicologia ed alle neuroscienze, soprattutto dopo l'avvento del calcolatore (anni '60), si è proposta un'altra disciplina: l'intelligenza artificiale. Essa ha posto alla base della sua indagine degli assunti teorici così vicini a quelli dell'indirizzo dominante di psicologia, la psicologia cognitiva, da giungere ben presto a formare con essa il nucleo delle "scienze cognitive". Le altre discipline che hanno aderito al programma delle scienze cognitive sono state soprattutto la linguistica e la filosofia della mente. I principali assunti teorici condivisi da queste discipline sono stati i seguenti (Gadamer (1985), Parisi (1989)).

- La scienza cognitiva ha per oggetto di ricerca un livello di analisi specifico, non riducibile ad altri livelli o verso il basso, o neurofisiologico, o verso l'alto, sociologico. Questo livello è costituito dalle rappresentazioni mentali e dai processi mentali che producono conoscenza: simboli, regole, schemi, immagini.

- La conoscenza è codificata principalmente attraverso simboli. I processi cognitivi, implementati da dispositivi naturali o artificiali, consistono in trasformazioni di complessi di simboli in altri complessi di simboli mediante opportune regole di inferenza.
- La scienza cognitiva studia i processi cognitivi al di fuori del contesto più generale e globale che caratterizza la mente umana, dai fattori biologici, ai fattori individuali (emozioni, motivazioni, sviluppo ontogenetico, ecc.), sociali e culturali.
- Il calcolatore rappresenta il modello di come funziona la mente e serve come strumento per simulare i processi mentali. L'intelligenza artificiale che simula al calcolatore i processi mentali, è dunque un ramo fondamentale della scienza cognitiva.
- La scienza cognitiva affronta i problemi della conoscenza (come la mente conosce, quali sono i suoi limiti, ecc.) che sono stati centrali nella storia della filosofia occidentale, dai tempi di Platone ed Aristotele fino ad oggi.

Probabilmente il carattere essenziale delle scienze cognitive consiste nell'assunto che la mente sia indipendente dal sistema, naturale o artificiale, che la esprime. Questo principio sancisce l'esistenza di un dualismo radicale tra mente e cervello: i processi cognitivi non sono l'espressione unica del sistema cervello, un sistema avente una particolare struttura e storia (biologica), ma possono essere prodotti da diversi sistemi purché sufficientemente sofisticati.

Questo principio ha portato l'intelligenza artificiale a costruire dispositivi, come i sistemi esperti, basati su complessi di regole di produzione di tipo "if ... then", aventi meccanismi di funzionamento completamente differenti rispetto al cervello. In sostanza l'intelligenza artificiale ha cercato di costruire dispositivi intelligenti a partire dalle funzioni cognitive di alto livello direttamente osservabili nell'uomo, seguendo a ritroso un metodo sintetico deduttivo. In questo senso si è mossa su un piano strettamente funzionale al pari di quando fatto dalla psicologia cognitiva.

Nonostante i primi successi come la costruzione del General Problem Solver da parte di Newell e Simon nel 1956, e dei sistemi esperti applicati in campo medico e finanziario, ben presto sono emersi i limiti dell'intelligenza artificiale basata sugli assunti delle scienze cognitive. Ci si è accorti infatti che i sistemi

intelligenti artificiali, nonostante l'enorme complessità raggiunta, non sono in grado di esprimere alcune caratteristiche molto importanti proprie dei sistemi intelligenti naturali, come la conoscenza comune, la flessibilità, la robustezza al rumore, la sensibilità al contesto, la capacità di imparare dall'esperienza (Parisi (1989)).

Anche dal punto di vista dell'utilizzo dei dispositivi artificiali intelligenti come modelli psicologici dei processi cognitivi, questi limiti costituiscono un grosso ostacolo in quanto rivelano una differenza radicale nei meccanismi di funzionamento profondi dei sistemi artificiali rispetto quelli naturali.

Nonostante questi limiti va comunque riconosciuto a questi modelli il grande merito di avere indotto gli psicologi cognitivisti che si sono cimentati con essi, a specificare i loro modelli spesso espressi in forma molto poco definita ed approssimativa attraverso schemi astratti come i diagrammi di flusso (Eysenck Keane (1990)). Ad esempio il modello computazionale di Marr (1982) ha mostrato come tutti i precedenti modelli cognitivi sui rilevatori di caratteristiche visive erano eccessivamente semplicistici ed incompleti.

Connessionismo e sistemi complessi

Negli anni '80 si è venuto proponendo nell'ambito dell'intelligenza artificiale un nuovo "paradigma" chiamato connessionismo (Rumelhart, McClelland (1986)), che si è proposto come antagonista rispetto all'approccio dell'intelligenza artificiale "classica", legata al paradigma delle scienze cognitive.

L'idea di base di questo nuovo paradigma è che "la mente è ciò che fa il cervello". Questo significa che il modo migliore per studiare il comportamento sia costruire modelli che riprendano le caratteristiche fondamentali del dispositivo che lo genera, il cervello appunto. Anzi questo è il solo modo per farlo. Contrariamente alle scienze cognitive infatti, il connessionismo afferma che la totalità delle caratteristiche dei processi cognitivi dei sistemi naturali, ed in particolare la flessibilità, la sensibilità al contesto, la robustezza al rumore, la capacità di apprendere dall'esperienza, siano producibili solo da sistemi che presentano alcune caratteristiche tipiche del cervello.

Per questo il connessionismo ha assunto come suo modello fondamentale le “reti neurali”. Una rete neurale cattura alcuni tratti essenziali del cervello. Essa è composta di unità (neuroni), connessioni tra unità (sinapsi), propagazione delle attivazioni da una unità ad un'altra (potenziali di attivazione), attivazioni delle unità sulla base delle eccitazioni ed inibizioni provenienti dalle altre unità, modificazione della conduttività delle connessioni attraverso l'esperienza.

Le reti neurali costituiscono un grosso passo in avanti rispetto ai modelli delle scienze cognitive e dell'intelligenza artificiale classica. In particolare le reti neurali si differenziano rispetto a questi modelli in quanto prendono in considerazione i seguenti aspetti del cervello.

Informazione codificata in forma quantitativa anziché tramite simboli. L'informazione, al pari di quanto avviene nel cervello, circola nelle reti neurali in forma quantitativa. In particolare la “memoria” del sistema risiede nella conduttività delle connessioni delle unità della rete, che nelle simulazioni è sintetizzata da un numero (peso). Anche le informazioni che sono scambiate tra le unità sono di carattere quantitativo (numeri che sintetizzano l'intensità degli impulsi scambiati). Le elaborazioni che sono realizzate dalle unità, poi, consistono in funzioni matematiche, cioè in una associazione di impulsi (numeri) in uscita ad impulsi (numeri) in entrata.

Le informazioni dunque, diversamente da quanto accade per i dispositivi dell'intelligenza artificiale classica, non sono codificate attraverso simboli che hanno un significato univoco e “concentrato”, e corrispondono ognuno ad una particolare entità del mondo. E' questa una caratteristica fondamentale delle reti da cui derivano proprietà come la flessibilità, la gradualità del cambiamento e l'adattamento progressivo, la capacità di operare per analogia, la flessibilità, la memoria di tipo associativo (il richiamo di un item mnestico avviene attraverso uno stimolo ad esso collegato per analogia, piuttosto che attraverso l'informazione di dove si trova fisicamente, come avviene per le memorie ad indirizzo). Il motivo di fondo è che due simboli possono essere tra loro o del tutto identici o del tutto diversi. Due numeri invece, possono avere infiniti gradi di diversità (o di vicinanza).

Informazione diffusa. Le informazioni relative alle entità reali del mondo, proprio in quanto sono contenute nei pesi delle connessioni delle unità che sono collegate in rete e concorrono collettivamente ad esprimere le risposte date dal

sistema agli stimoli provenienti dall'ambiente, sono distribuite su più punti della rete. Inoltre sono sovrapposte, nel senso che un peso concorre ad immagazzinare più contenuti mnestici. Questo se da una parte può portare a produrre interferenza tra i ricordi, dall'altra consente il funzionamento della memoria associativa, cioè della memoria che recupera i ricordi sulla base di frammenti di essi o stimoli in qualche modo legati ad essi. La memoria associativa è probabilmente alla base delle abilità come la creatività, la capacità di generalizzazione, la sensibilità al contesto e la robustezza al rumore, che come detto mancano ai sistemi prodotti dall'intelligenza artificiale classica.

Parallelismo. Il cervello e le reti neurali, non sono dotati di un elaboratore centrale di informazioni ne' di particolari magazzini di memoria in cui sono contenute le informazioni, come accade per i calcolatori. Sono piuttosto dotati di un grande numero di unità particolari in grado ciascuna di svolgere delle elaborazioni molto semplici dei segnali (come la somma e l'amplificazione). Le prestazioni complessive del sistema sono l'espressione dall'operare parallelo di queste unità.

In relazione alla struttura tipica appena indicata, consideriamo ora una caratteristica del cervello, riprodotta nelle reti neurali, che per la sua importanza merita di essere trattata a parte: la natura di sistema complesso adattivo.

La natura di sistema complesso del cervello, accanto alla natura quantitativa e diffusa dell'informazione contenuta in esso che consente di togliere ai simboli il ruolo di unico veicolo della conoscenza, rappresenta probabilmente un salto epocale nella storia dello studio del pensiero e della conoscenza. Infatti l'avere riconosciuto che alcuni caratteri dei processi intelligenti naturali sono strettamente legati alla natura di sistema complesso del cervello, richiede dei cambiamenti drastici sia nella visione della loro essenza, sia nelle tecniche utilizzabili per la loro indagine. La ragione di questo risiede nel fatto che i sistemi complessi hanno dei caratteri così radicalmente diversi dai sistemi semplici, normalmente studiati dalle scienze "dure", da mettere a dura prova i metodi di indagine e gli schemi teorici tradizionalmente utilizzati da queste. Vediamo perché.

Un sistema complesso è un insieme molto grande di elementi che interagiscono localmente tra di loro in modo tale che dalle loro interazioni emergono le proprietà globali del sistema. Queste proprietà globali sono emergenti nel senso che, diversamente da quanto accade nei sistemi semplici, non sono

predicibili o deducibili dalla conoscenza degli elementi e delle regole che governano le interazioni locali. Nel loro studio quindi, il riduzionismo incontra seri limiti.

La non riducibilità del comportamento di un sistema complesso alle leggi di interazione locale delle unità di cui è composto, sebbene tale comportamento derivi da esse, dipende da una serie di proprietà dei sistemi complessi.

Organizzazione su più livelli gerarchici. I sistemi complessi tendono ad organizzarsi su più livelli gerarchici. Questi livelli hanno dei legami e delle interazioni che non sono univoci e deterministici: un cambiamento ad un livello può riflettersi sul livello superiore o inferiore in modo molto differente a seconda di una serie di condizioni al contorno.

Scarsa importanza delle singole unità. Le singole unità elementari dei sistemi complessi hanno poco peso nel determinare il comportamento del sistema. Ciò che determina tale comportamento è l'azione collettiva e parallela di tante unità interagenti. Questo di per sé limita la possibilità di "ridurre" la spiegazione di un fenomeno osservato al livello globale del sistema, all'azione di poche variabili sottostanti.

Non linearità. Essa comporta che una perturbazione di entità limitata può dar luogo a cambiamenti catastrofici nel sistema mentre una perturbazione importante può essere riassorbita senza apparenti conseguenze. Inoltre due sistemi possono partire da stati iniziali molto simili e divergere poi moltissimo tra di loro mentre in altri casi due sistemi partendo da stati iniziali parecchio dissimili convergono con il tempo.

Legami sistemici. Le unità ed i livelli dei sistemi complessi sono caratterizzati da "legami sistemici", cioè da relazioni circolari, da meccanismi omeostatici e da relazioni di feedback, che tendono a sostituire le relazioni lineari di causa ed effetto tipiche dei sistemi semplici, e delle costruzioni teoriche utilizzate per comprenderli da parte delle scienze "dure".

Natura adattativa. I sistemi che interessano i biologi e gli studiosi del comportamento sono inoltre adattivi, si modificano cioè in funzione dell'ambiente in cui si trovano. I sistemi complessi adattivi hanno l'importante caratteristica di possedere dei meccanismi sofisticati che consentono dei cambiamenti a livello delle unità elementari come riflesso di eventi accaduti a livello globale (è ad

esempio quanto accade nel cervello quando l'esperienza porta a modificazioni al livello di sinapsi).

Natura evolutiva. I sistemi complessi adattativi hanno una natura intrinsecamente evolutiva. Essi tendono a portare dentro, in ogni momento, delle tracce della loro storia passata, che accumula informazioni a livello di struttura. L'informazione contenuta nel DNA è un tipico esempio di ciò.

Rumore. I sistemi complessi sono spesso caratterizzati dalla presenza di eventi casuali. Il rumore, lungi dall'essere un limite, costituisce spesso la fonte di creazione di nuove strutture ed organizzazioni che consentono al sistema di far fronte a nuove situazioni, consentendo così il processo di adattamento stesso.

Natura dinamica. Una ponte, con le sue componenti strutturali aventi relazioni di tensione, pressione, peso, è un esempio di sistema nel quale domina la componente della staticità. Il mare, con i suoi fondali e coste soggetti a processi di erosione e sedimentazione, le sue acque soggette alle correnti, ai cambiamenti di salinità e di temperatura, è un esempio di sistema nel quale domina la componente dinamica. I sistemi complessi hanno una natura tipicamente dinamica. La dinamicità ed il cambiamento sono essenziali per consentire i processi circolari, di adattamento, di emergenza dell'organizzazione dal rumore, che abbiamo accennato.

Il cervello è un tipico sistema complesso. I neuroni costituiscono le sue componenti elementari, le eccitazioni, le inibizioni, le funzioni di trasferimento all'interno dei neuroni, le modificazioni delle sinapsi, costituiscono le leggi di interazione locale del sistema.

Il sistema complesso cervello è organizzato su più livelli gerarchici. Ad esempio, si possono individuare in esso almeno i livelli seguenti:

- Livello dei singoli neuroni, sinapsi, neuro-trasmettitori, potenziali.
- Livello dei "circuiti" di neuroni.
- Livello delle aree funzionali del cervello, aventi una certa specializzazione.
- Livello del comportamento e dell'attività mentale dell'organismo.

Il comportamento e la cognizione sono le proprietà globali, emergenti, del sistema complesso cervello. Questo è un punto fondamentale. Esso implica che solo se useremo dei modelli che incorporano le caratteristiche essenziali dei sistemi complessi, come le reti neurali, potremo sperare di comprendere a fondo le

relazioni esistenti tra il livello microscopico del cervello, quello dei neuroni, ed il livello macroscopico, quello del comportamento.

Perché la visione del cervello come sistema complesso adattivo comporta una svolta epocale nella visione delle attività mentali e nelle metodologie atte ad indagarle? I motivi sono diversi.

L'impianto posto alla base della visione della conoscenza sin dall'inizio della nascita del pensiero occidentale basato sul concetto di simbolo come rappresentazione esatta ed univoca di un'entità reale, sancito in modo definitivo dalla logica matematica e portato in trionfo dall'avvento del computer, viene messo in discussione.

Cade la presunzione di poter costruire sistemi intelligenti artificiali flessibili e dotati di buon senso, sulla base di un approccio sintetico cioè ignorando quanto fatto dalla natura. Vi è la piena presa di coscienza della complessità di strutture, meccanismi, interazioni e legami circolari che consentono le prestazioni dell'intelligenza naturale.

Vengono messi in evidenza i limiti dell'applicazione del metodo scientifico allo studio dell'attività mentale. L'esperimento basato sullo studio degli effetti prodotti da poche variabili opportunamente manipolate sul fenomeno osservato, incontra seri limiti nel ruolo collettivo svolto dalle unità del sistema complesso e dall'insieme di leggi di interazione locale. Benché sia vero che il metodo scientifico continua ad avere un ruolo molto importante nella scoperta delle leggi di interazione locale (è quanto fanno ora le neuroscienze), esso non può consentire lo studio dei fenomeni di "emergenza" relativi alla vita mentale. Per essi sono necessarie situazioni in cui vengono manipolate grandezze "globali" invece che puntuali, come il numero di unità del sistema, il set di leggi di interazione locale, i "parametri" che determinano i cambiamenti quantitativi "continui" prodotti da queste leggi.

In questo senso i modelli simulativi che utilizzano le immense risorse di memoria e di calcolo dei computer costituiscono uno strumento che probabilmente affiancherà le tecniche di indagine tradizionale, sia nel momento della costruzione delle ipotesi scientifiche, sia nel momento della sua verifica. I modelli simulativi consentono infatti di rappresentare i sistemi complessi e di studiare i fenomeni emergenti e le relazioni esistenti tra i diversi livelli gerarchici. E' possibile scrivere dei programmi informatici che mimano le leggi di interazione locale del

sistema ed aggiornano nel tempo le modificazioni parallele a cui vanno incontro le unità elementari. Il programma viene fatto poi “girare” e consente di osservare come l’evoluzione dinamica del sistema dipenda da una serie di fattori manipolabili. Questi fattori riguardano una moltitudine di elementi, non singole variabili. Ad esempio sono costituiti dal numero di unità, dal tipo di collegamenti tra esse, dalle leggi di scambio dei segnali, dalle leggi di modifica della struttura.

I modelli computazionali diventano quindi un nuovo linguaggio, accanto a quelli tradizionali verbali e della matematica, con cui esprimere le conoscenze sulle realtà studiate.

A seguito di tutto questo, le discipline coinvolte nello studio dell’attività mentale sono costrette a ripensare i metodi di indagine adottati e la natura delle costruzioni teoriche utilizzate per spiegare i fenomeni osservati. Nel paragrafo successivo cercheremo di prospettare alcuni di questi cambiamenti radicali a cui a nostro avviso dovrebbero andare incontro le discipline sull’attività mentale a seguito delle scoperte viste.

Verso uno studio integrato della mente e del cervello

Da quanto detto finora deriva che sia la psicologia che le neuroscienze dovrebbero andare incontro ad una serie di cambiamenti per avere successo nella comprensione delle attività mentali.

Il primo cambiamento è di mentalità. I ricercatori che si dedicano ad esse dovrebbero acquisire una mentalità interdisciplinare, mirante a realizzare uno studio unificato della mente e del cervello attraverso l’utilizzo di conoscenze provenienti da discipline diverse dalla propria. Questo consentirebbe anche di colmare la serie di lacune che abbiamo prospettato in precedenza.

Nell’ambito dello studio unificato della mente e del cervello, la psicologia, dovrebbe puntare esplicitamente a costruire delle teorie unificate in grado di raccordare i dati ed i risultati isolati che ha ottenuto finora, che costituiscono un patrimonio di conoscenze da non disperdere. La linea da seguire per raggiungere questo obiettivo dovrebbe essere quella indicata prima: abbandonare il “metodo” funzionalista, basato su “modelli metafora”, e cercare di costruire modelli concordanti con le conoscenze fornite dalle neuroscienze. In questo senso le reti

neurali, grazie alla loro intrinseca natura di sistema complesso, dovrebbero costituire la materia prima da “plasmare” per costruire i diversi modelli.

Per costruire teorie unificanti di questo tipo è necessario che gli psicologi lavorino insieme ai neuroscienziati ed ai biologi, in modo che le strutture ed i meccanismi ipotizzati siano plausibili biologicamente e si basino su dati sperimentali. Ovviamente i modelli non dovrebbero contenere tutto quello che le neuroscienze già sanno, ma dovrebbero cercare di individuare le strutture ed i processi neurofisiologici più importanti coinvolti nel comportamento. L’obiettivo sarebbe appunto quello di produrre una visione integrata della mente e del cervello, dalle strutture neurali al comportamento. Evidentemente per realizzare questo obiettivo ci dovrebbe essere un avvicinamento degli psicologi anche verso i concetti e le tecniche del connessionismo: non vediamo altri possibili “luoghi di incontro” tra psicologia e neuroscienze oltre questi.

Un altro principio che la psicologia potrebbe seguire per costruire teorie unificanti, consiste nel dare importanza allo sviluppo dell’intelligenza. Questa è la logica conseguenza del riconoscimento che il cervello, essendo un sistema complesso adattivo, porta dentro la “storia” non solo del singolo organismo durante la sua vita, ma anche la storia della specie naturale di cui fa parte, sviluppata in milioni di anni dalla selezione naturale. In questo senso la psicologia dovrebbe mirare non solo a costruire teorie unificanti in relazione alle diverse funzioni di cui si compone il comportamento adulto di un individuo, ma anche unificanti in termini temporali.

Nella direzione della costruzione di una teoria unificante in termini di sviluppo del singolo organismo va ad esempio la costruzione teorica di Piaget. Egli ha cercato di dare una rappresentazione dell’intelligenza non solo nella sua fase matura ed adulta, ma nel suo costruirsi e riorganizzarsi attraverso le diverse fasi dello sviluppo (Piaget (1937), Petter (1960)). Il merito di Piaget risiede proprio nella suo impegno teorico, diretto a formulare una “teoria generale”, unificante appunto, dello sviluppo dell’intelligenza. La debolezza di cui è stato accusato il suo metodo sperimentale, non attenua l’importanza della sua opera. Le teorie di respiro ampio sono indispensabili per il progresso della disciplina. Il “grado di fiducia” non elevato che si può riporre in esse è ripagato dal valore unificante e di cumulatività delle conoscenze che esse portano con se.

La seconda direzione da seguire per “l’unificazione temporale” delle teorie psicologiche è costituita dallo studio dello sviluppo dell’intelligenza durante l’evoluzione biologica. Riteniamo infatti che affrontare frontalmente le tematiche relative ai comportamenti degli organismi superiori, per la complessità delle strutture sottostanti, sia una impresa troppo ardua. Inoltre è molto probabile, alla luce dello sviluppo temporale dell’intelligenza durante l’evoluzione naturale, che funzioni cognitive superiori siano fortemente legate e poggino sulle funzioni cognitive inferiori presenti anche negli animali più semplici. Per questo delle ricerche dirette a studiare forme di intelligenza di “basso livello”, come quella sensomotoria, presenti in organismi semplici, potrebbe consentire di scoprire alcune caratteristiche di base dei meccanismi e delle strutture neurofisiologiche sottostanti a certi comportamenti di “alto livello”.

Per quanto riguarda le neuroscienze, esse dovrebbero continuare le indagini, che finora hanno portato a grandi successi, sulle “leggi di interazione locale” del cervello. Esse però, per essere più incisive nella conoscenza del funzionamento globale e comportamentale del cervello, dovrebbero incrementare il loro “impegno teorico”, cioè dovrebbero tentare di produrre delle teorie sul funzionamento collettivo dei neuroni, collegati in circuiti ed organizzati in aree funzionali. Per fare questo dovrebbero utilizzare le conoscenze fornite dalla psicologia per avere chiari in mente quali sono i comportamenti di alto livello del cervello, di cui esse debbono trovare delle spiegazioni a livello di neuroni e circuiti.

Credo che in questo senso sia molto positivo lo sforzo compiuto da Edelman (Edelman (1987), Reeke, Finkel, Sporns, Edelman (1990)). Egli ha cercato di elaborare una teoria complessiva del cervello. Inoltre ha introdotto una serie di concetti che possono essere utilizzati come mattoni da costruzione per la “studio unificato mente cervello”: gruppi neuronali, repertori di gruppi neuronali, mappe e nuclei neuronali, ritmo, darwinismo neuronale, meccanismi di sviluppo del sistema nervoso, meccanismi di modifica delle sinapsi plausibili neurofisiologicamente. Credo che la sua teoria, anche se eccessivamente ottimista nella sua pretesa di spiegare tutto del cervello, sia importante per le neuroscienze proprio in quanto apre la nuova strada alla formulazione di teorie di un certo respiro sul cervello.

In questo tentativo, le neuroscienze, come fatto da Edelman, dovrebbero fare uso dei modelli computazionali come le reti neurali. Il connessionismo infatti, potrebbe svolgere una funzione euristica importante per le neuroscienze. Se è vero

che il cervello è un sistema complesso ed i processi cognitivi sono dei fenomeni emergenti dall'interazione collettiva di miliardi di neuroni, allora il suo studio non può essere fatto con le tecniche tradizionali che prevedono di modificare una o poche variabili tenendo bloccate tutte le altre e di valutare gli effetti così prodotti sulle variabili studiate. Il suo studio va fatto invece cercando di individuare i comportamenti dei neuroni ed in particolare i tipi di meccanismi che regolano la loro interazione ed evoluzione nel tempo, valutando come questi possono generare i comportamenti emergenti indicati dalla psicologia. Come indicato in Waldrop (1993):

[...] neural networks models as tools that enable researchers to “probe” how high-level functions such as perceiving, attending, learning, planning, and remembering emerge from the massively parallel neural architecture of the brain.

Ed ancora, Jonathan Cohen della Carnegie Mellon University di Pittsburgh (fonte Internet):

Neural network is the perfect language for bridging the gap between biological and cognitive processes [...] allow you to make a much clearer mapping between the levels using a structure similar to that used by the brain.

La funzione euristica che il connessionismo potrebbe svolgere per le neuroscienze è quindi notevole. Le neuroscienze dovrebbero indicare o suggerire i “meccanismi” del microlivello, il connessionismo dovrebbe consentire di creare dispositivi basati su questi meccanismi e consentire di verificare il tipo di comportamenti che possono emergere da essi al macrolivello.

D'altra parte il connessionismo, partendo da problemi psicologici, cioè “funzionali”, potrebbe suggerire alle neuroscienze il tipo di meccanismi che possono essere alla base di essi, e guidare le neuroscienze nella giusta direzione per quanto riguarda la ricerca di questi meccanismi.

Vediamo un esempio. Il connessionismo può porsi il problema di costruire una rete neurale, con un particolare meccanismo di modifica dei pesi, che sappia riprodurre il fenomeno del condizionamento operante osservato dalla psicologia, consistente nella tendenza da parte dei soggetti studiati, a riprodurre con sempre maggiore frequenza un comportamento, inizialmente prodotto per caso, che riceve un rinforzo positivo. Il connessionismo allora può cercare di fare delle ipotesi sui meccanismi neurali, e costruire dei modelli di essi, che consentano di spiegare in che modo possa avvenire quanto osservato.

Ad esempio può fare delle ipotesi su come sia gestito il gap temporale tra comportamento e ricompensa e su come vengano modificate le singole sinapsi sulla base dell'informazione molto povera costituita dal rinforzo. Può suggerire ad esempio che esista una traccia a livello dei neuroni, che “segna” le connessioni che hanno partecipato a generare il comportamento, ed in base alla quale i neuroni sono poi modificati attraverso il rinforzo. Le neuroscienze, a questo punto, possono cercare di verificare se effettivamente l'attività delle sinapsi lascia in esse delle tracce che consentono poi la loro modificazione.

Quello indicato è un metodo “sintetico”. A differenza di quanto fatto dall'intelligenza artificiale classica però, il connessionismo non solo partirebbe dall'evidenza empirica offerta dalle neuroscienze per la costruzione dei suoi modelli, ma nella situazione prospettata accetterebbe anche il vaglio successivo dei suoi modelli da parte delle neuroscienze.

Con una metafora si può dire che il connessionismo, partendo dalle istanze conoscitive sollevate dalla psicologia e costruendo modelli in linea con le conoscenze fornite dalle neuroscienze, consentirebbe di “sparare” una serie di proiettili traccianti attraverso l'oscurità del buco di conoscenze esistente tra il livello neuronale e quello comportamentale del cervello, in modo da cominciare ad illuminare i possibili contorni dei fenomeni e delle strutture presenti tra i due. Queste “tracce” sarebbero semplici, lineari, imprecise, diverse dall'articolazione dei fenomeni da svelare (l'imprecisione delle teorie unificanti di cui dicevo prima). Tuttavia costituirebbero delle ipotesi intorno alle quali lavorare e con le quali indirizzare la ricerca sulla mente.

Bibliografia

- Bocchi G., Ceruti M. (1985) (ed.), *La sfida della complessità*, Milano, Feltrinelli.
- Cini Marcello (1990), *Un paradiso perduto*, Milano, Feltrinelli.
- Edelman Gerard M. (1987), *Neural Darwinism*, New York, Basic Books.
- Eysenck Michael W., Keane Mark T. (1990), *Cognitive Psychology*, Hove East Sussex U.K., Lawrence Erlbaum.
- Gardner H. (1985), *The mind's new science*, New York, Basic Books.
- Kandel Eric R., Schwartz James H., Jessel Thomas M. (1988, III ed. 1991), *Principi di neuroscienze*, Milano, Casa Editrice Ambrosiana.
- Marr David (1982), *Vision: A Computational investigation into the human representation and processing of visual information*, San Francisco, W. H. Freeman.
- McClelland J. D. Rumelhart D. E. (eds.) (1986), *Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition*, 2 voll., Cambridge Mass., MIT Press.
- Parisi Domenico (1989), *Intervista sulle reti neurali*, Bologna, Il Mulino.
- Parisi Domenico (1990), Connessionismo: origine e sviluppo al centro dello studio dell'intelligenza, *Sistemi intelligenti*, vol.2 pag. 364-426.
- Parisi Domenico (1996), *Il futuro della scienza del comportamento e della vita mentale*, Technical Report, Roma, Istituto di Psicologia - Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Parisi Domenico, Cecconi Federico, Nolfi Stefano (1990), Econets: Neural Networks that learn in an environment, *Network*, vol. 1, pag. 149-168.
- Pessa Eliano (1993), *Reti neurali e processi cognitivi*, Roma, Di Renzo Editore.
- Petters Guido (1960), *Lo sviluppo mentale nelle ricerche di Jean Piaget*, Firenze, Editrice Universitaria.
- Piaget J. (1937), *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux & Niestlé. (trad. it.: La nascita dell'intelligenza, Firenze, Ed. Universitaria).
- Reeke George N., Finkel Leif H., Sporns Olaf, Edelman Gerald M. (1990), Synthetic Neural Modeling: A Multilevel Approach to the Analysis of Brain Complexity, Chap. 24, in Edelman Gerald M. Gall Einar W. Cowan Maxwell W. (eds.), *Signals and sense - Local and Global Order in Perceptual Maps*, New York, Wiley-Liss.
- McClelland J. D., Rumelhart D. E. (eds.) (1986), *Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition*, 2 voll., Cambridge Mass., MIT Press
- Waldrop Mitchell M. (1993), Cognitive Neuroscience: A World with a Future, *Science*, 261, pag. 1805-1807.

Verso uno studio integrato della mente e del cervello

Gianluca Baldassarre

Via di Pietralata, 430

00158 Roma

E-mail: lusi@iol.it

Tel.: +39 6 4505439

Ottobre 1997